

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

資料番号	TK-1-502 改1
提出年月日	平成30年5月8日

東海第二発電所

鋼製防護壁 止水機構振動試験要領書

日本原子力発電株式会社

平成30年5月

目次

1. 目的.....	1
2. 試験期間及び場所.....	1
3. 試験体制.....	1
4. 実証試験装置の概要.....	3
5. 試験条件.....	5

東海第二発電所 止水機構（1次止水機構）の実証試験の試験要領について

1. 目的

止水機構が基準地震動 S_s 及び余震+津波時において、実規模大の試験装置を用いた試験（以下「実証試験」という。）を行い、止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認する。本項は、実証試験の試験要領を示す。

2. 試験期間及び場所

実施時期：平成30年5月9日（水）～17日（木）

場 所

3. 試験体制

実証試験体制は、図1に示す。

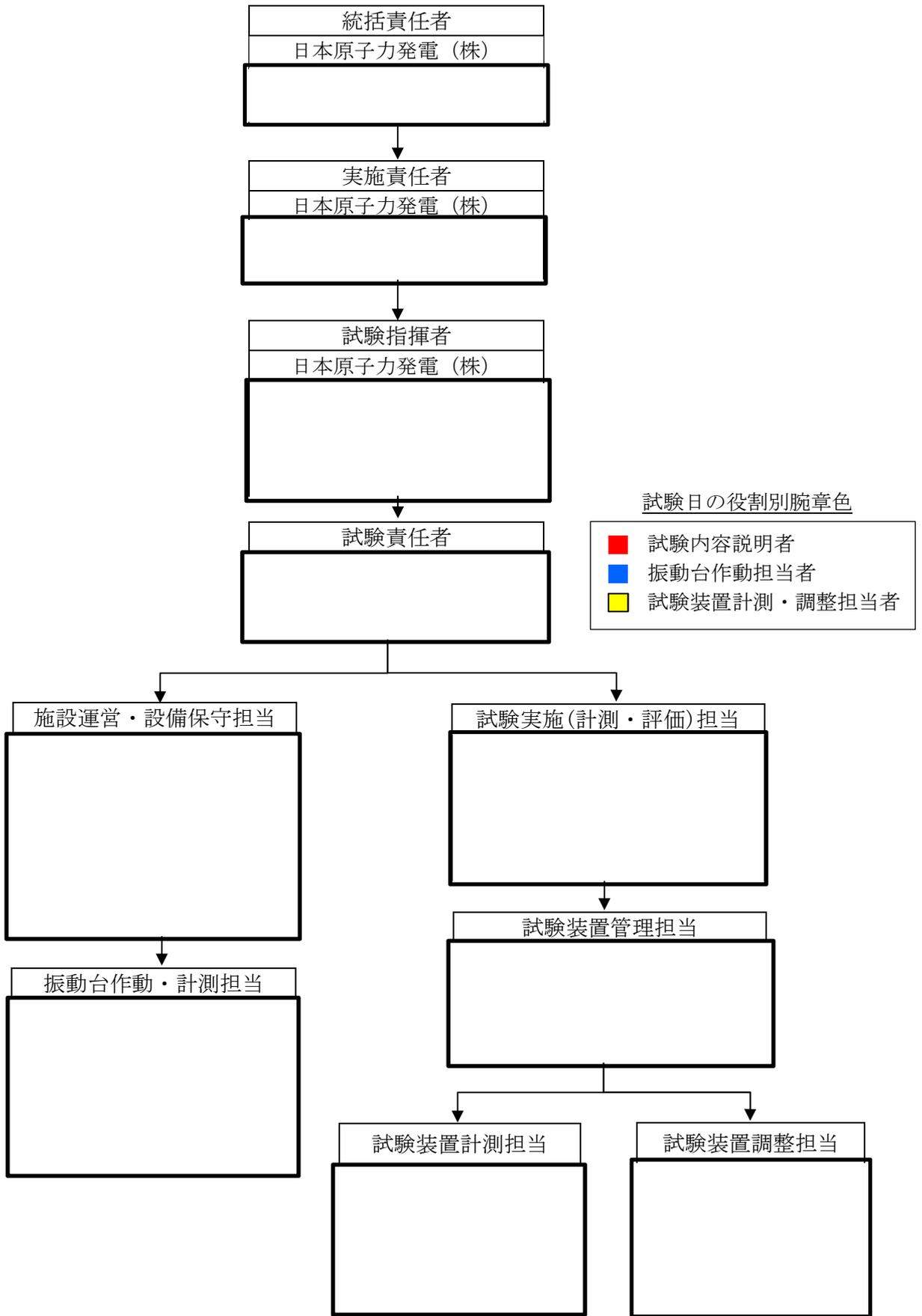


図1 実証試験体制

4. 実証試験装置の概要

振動台の上に1次止水機構を設置し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図2に大型3軸振動台の概要、図3に振動台の平面図、図4に試験装置のイメージ図を示す。

試験装置の写真は参考資料1に示す。

表1 振動台の仕様

加振自由度	3軸6自由度		
最大積載重量	80 t f		
テーブル寸法	X : 6m × Y : 4m		
定格	X方向	Y方向	Z方向
最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
最大加速度 (35 t 積載時)	1G (水平)	3G (水平)	1G (鉛直)

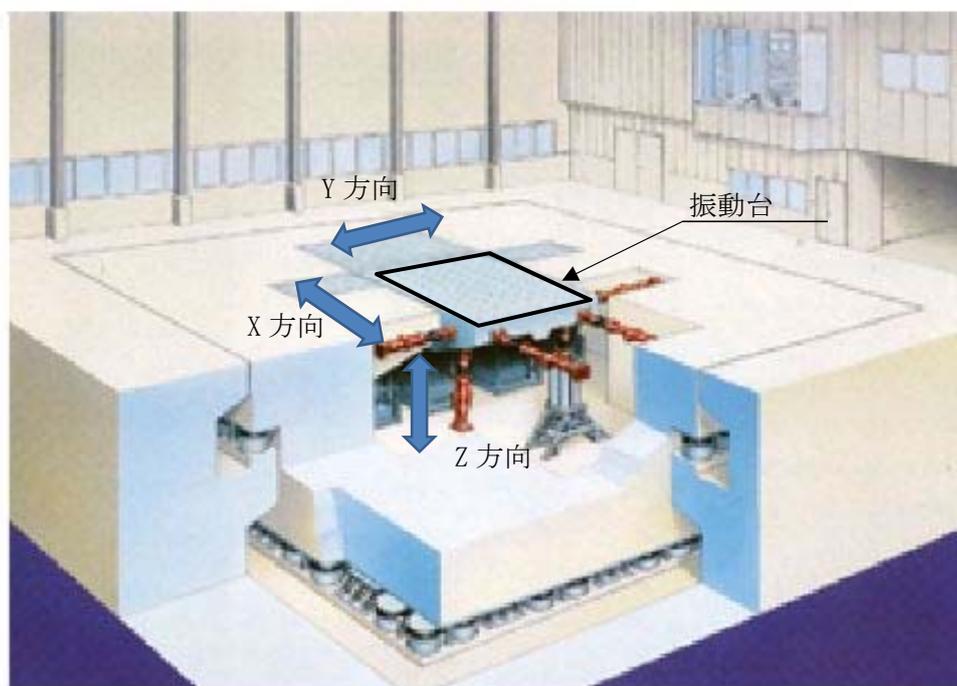


図2 大型3軸振動台の概要

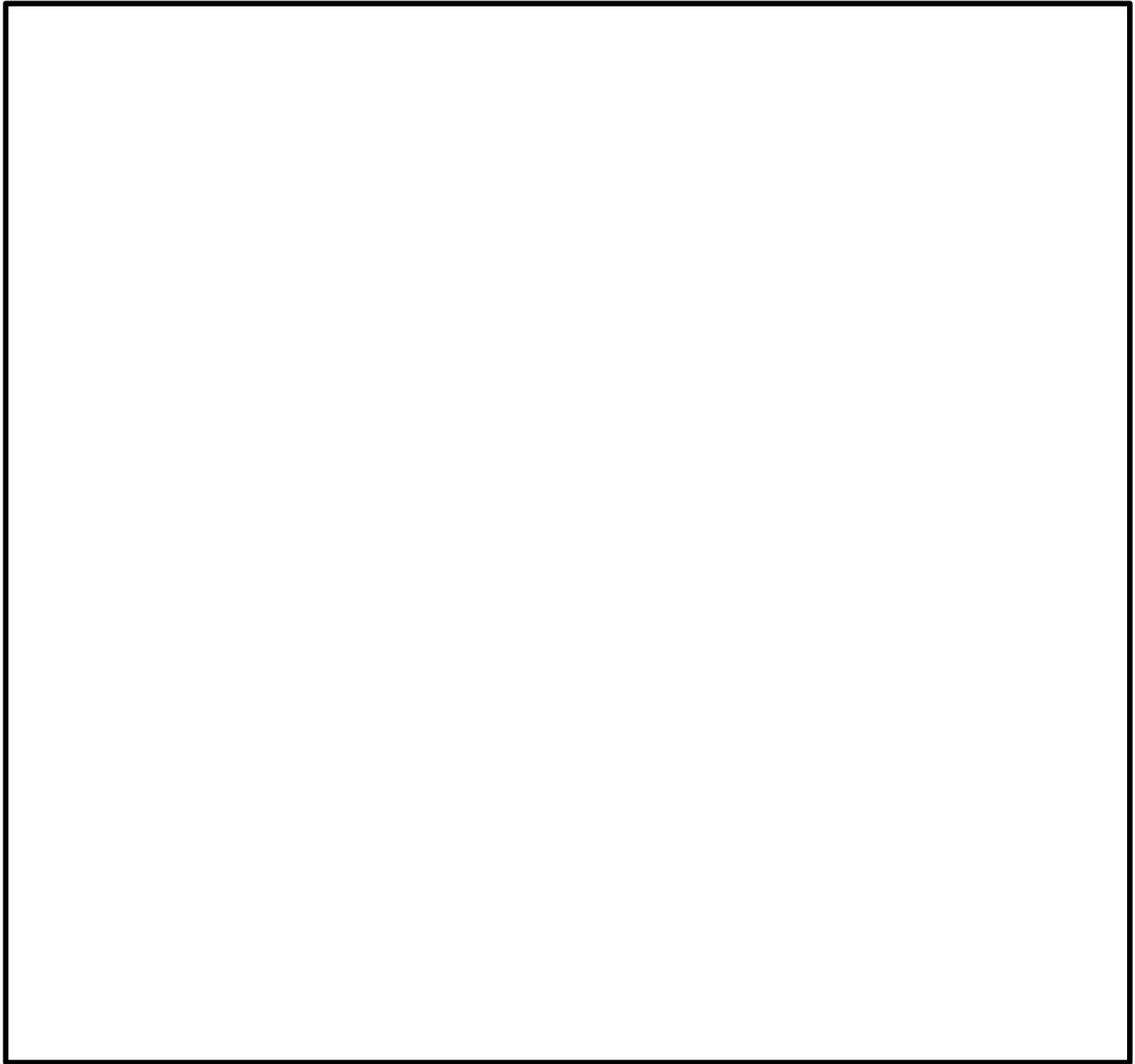


図3 振動台平面図

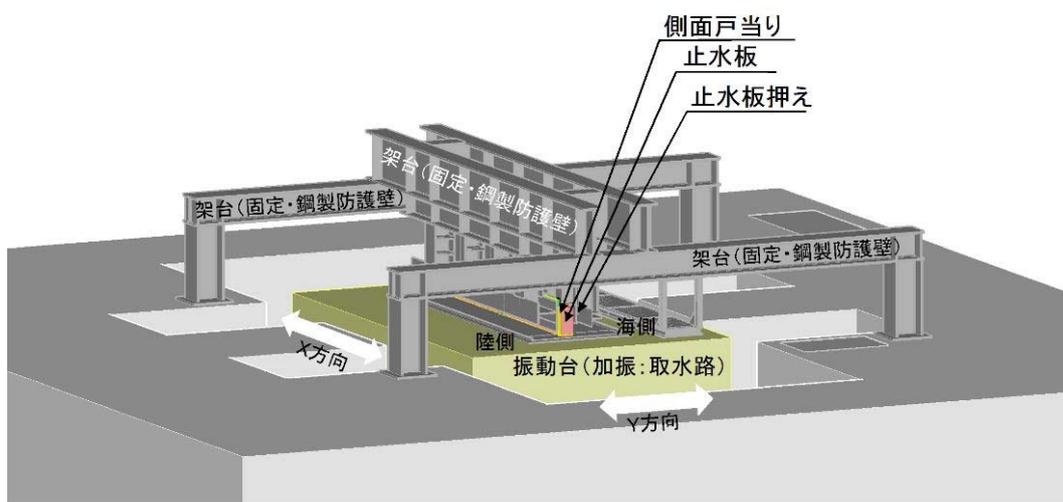


図4 試験装置の鳥観図

5. 試験条件

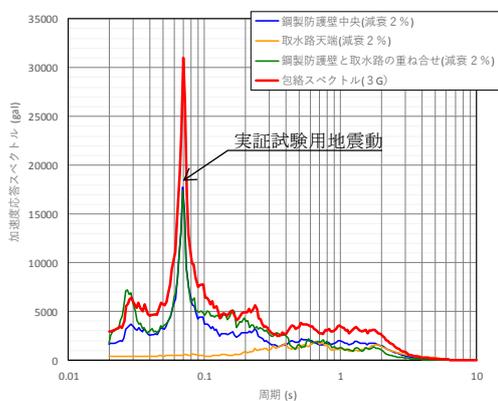
(1) 実証試験用地震動

振動台に入力する実証試験用地震動は、本震として基準地震動 S_s を包絡させた地震動及び余震+津波波圧を模擬的に与えた条件にて実証試験を実施する。表2に加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

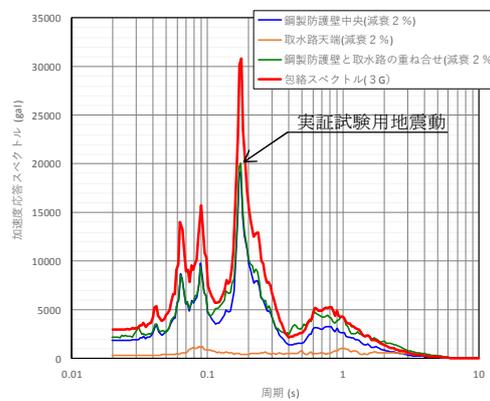
図5に本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトルを示す。

表2 実証試験用応答スペクトルに用いる入力地震動

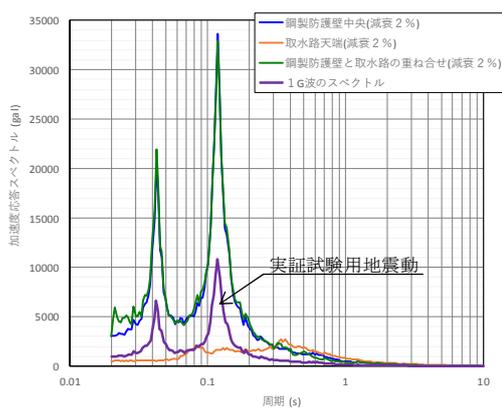
種類	入力地震動
本震	$S_s - D1$
余震	$S_d - D1$



加速度応答スペクトルX方向 (NS)



加速度応答スペクトルY方向 (EW)



加速度応答スペクトルZ方向

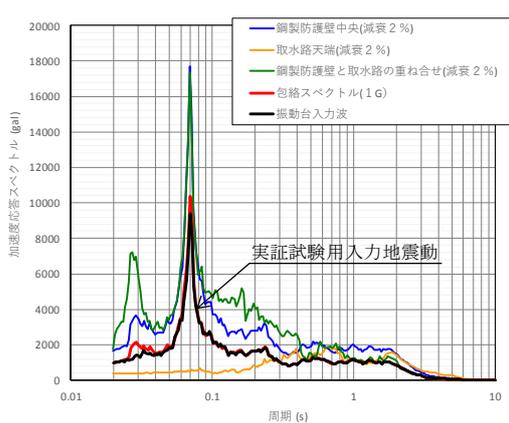
図5 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用地震動の加速度応答スペクトル

(2) 実証試験用入力地震動

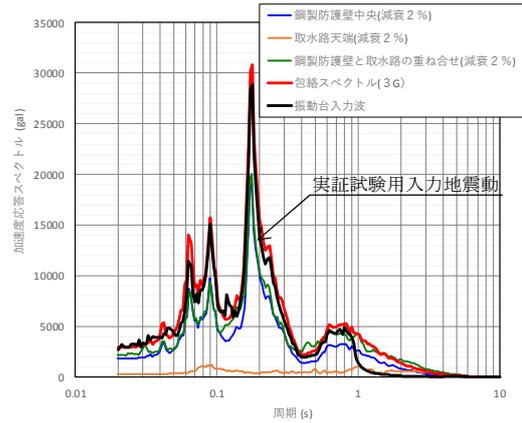
実証試験用入力地震動は、変位量に対する振動台性能の制限内に地震動を収めることを目的として、実証試験用地震動にハイパスフィルター（HPF）を掛け、長周期成分をカットした地震動である。

実証試験に用いる振動台へ入力する入力波形を図6に示す。

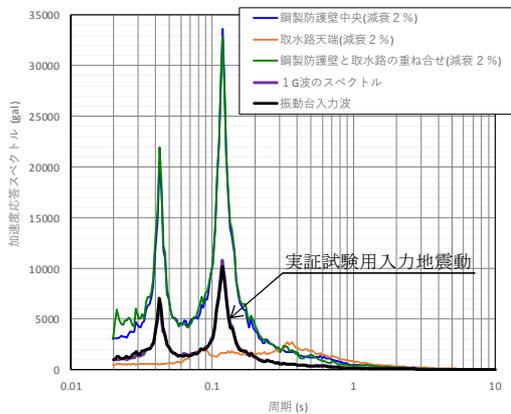
図6の入力加速度が最大3GであるY方向（EW）の加速度応答スペクトル図から周期1sec付近でHPFが掛かっていることが読み取れるが、最大加速度レベルは実証試験用地震動とほぼ同一レベルであることを確認した。



加速度応答スペクトルX方向（NS）



加速度応答スペクトルY方向（EW）



加速度応答スペクトルZ方向

図6 本震による三方向（X，Y，Z）の実証試験用入力地震動の加速度応答スペクトル

(3) 実証試験ケースと三次元動的解析ケース

表3に本震時、表4に余震時の実証試験のケースと三次元動的解析のケースを示す。
網掛け部分はお立会い時の実施ケースを示す。

表3 本震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①水平<堤軸方向> (X方向包絡波)	1 G	3 G (X包絡波)	1 G	●	○	3方向同時 (Y方向にX方向の地震動を入力。方向反転)
②水平<堤軸直交方向> (Y方向包絡波)	1 G	3 G (Y包絡波)	1 G	●	○	3方向同時
③鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	●	—	鉛直単独
④鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	●	●	鉛直単独
⑤基準地震動 (S _s) (S _s -D1)	—			●	●	3方向同時
⑥基準地震動 (S _s)	—			○	○	3方向同時

●：先行実施

○：検証結果報告時に報告 (5月下旬)

表4 余震時の実証試験ケースと三次元動的解析のケース

	実証試験のケース			三次元動的解析ケース		備考
	X	Y	Z	実証試験	実機	
①水平<堤軸直交方向> (Y方向包絡波)	1 G	2 G (Y包絡波)	1 G	○	○	3方向同時
②鉛直 (鋼製防護壁波形入力)	—	—	1 G	—	—	鉛直単独
③鉛直 (取水路側波形入力)	—	—	波形 入力	○	○	鉛直単独
④基準地震動 (S _d) (S _d -D1)	—			○	○	3方向同時

●：先行実施

○：検証結果報告時に報告 (6月中旬)

(4) 試験回数

実証試験に用いる入力地震動（ S_s-D1 ， S_d-D1 ）による確認は，止水板の挙動の再現性を確認するため，表5の試験回数の設定のとおり2回ずつ実施する。

実証試験のお立会いは，本震の2回目に実施する。

表5 試験回数の設定

	本震	余震+津波
試験回数	2回	2回

(5) 摩擦係数の設定

止水板に設置する側面・底面水密ゴムは，材料証明書にてダム堰施設技術基準の物性値であることを確認した未使用品のものを使用するため，摩擦係数は0.2の状態とする。表6に水密ゴムの物性値及び試験方法の規格を示す。

表6 水密ゴムの物性値及び試験方法の規格

	試験項目	物性値	規格値	試験条件・試験方法	
通常	硬さ (DURO-A型)	55	55±5	JIS K 6253	
	引張り 強さ	(MPa)	16.3	14.7以上	JIS K 6251
		(kgf/cm ²)	166	150以上	
	伸び (%)	500	300以上		

(6) 余震時の波圧の設定について

余震時には、余震+津波の津波高さの圧力を想定する必要があるため、津波による荷重を以下のとおり止水板に負荷し、実証試験を実施する。

◆水平方向荷重

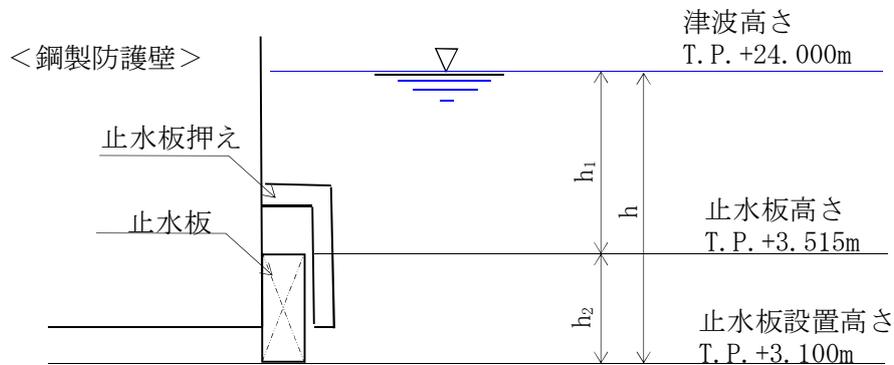
止水板1枚(2m) 当り 3カ所×2セットの水圧負荷装置により 29.0 kN 以上の荷重を掛ける。

$$W_H = 86.7 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div (3 \times 2) = 28.9 \text{ kN} \approx 29.0 \text{ kN}$$

◆鉛直方向荷重

止水板1枚(2m) 当り 2カ所×2セットの水圧負荷装置により 29.0kN 以上の荷重を掛ける。

$$W_v = 29.0 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \div 2 = 29.0 \text{ kN}$$



$$h = 20.9 \text{ m}$$

$$h_1 = 20.485 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.415 \text{ m}$$

◆水平方向水圧荷重 (単位 m あたり)

$$W_H = 1/2 \cdot (h^2 - h_1^2) \cdot \gamma_w$$

$$= 1/2 \times (20.90^2 - 20.485^2) \times 10.1 = 86.7 \text{ kN/m}$$

γ_w : 海水の単位体積重量 10.1 kN/m

◆鉛直方向水圧荷重 (単位 m 当たり)

$$W_v = h_1 \cdot \gamma_w \cdot B^{\wedge}$$

$$= 20.485 \times 10.1 \times 0.14 = 29.0 \text{ kN/m}$$

B^{\wedge} : 鉛直方向受圧厚さ 0.14m

(7) 実証試験に係る計測項目

実証試験における計測項目を表7、計測箇所を図8及び計測器一覧を表8に示す。

表7 実証試験における計測項目

各部位	目的	確認項目	
①止水板押え	止水板の追従性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板押えの加速度計測 (⑬～⑯)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板押えと止水板の隙間計測 ・止水板押え側ガイド板の平面度測定 ・止水板押え側ガイド板と止水板側ガイドとの寸法測定 ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗等の確認
④止水板 (底面止水板 コマ部含む)	止水板の追従性及び健全性を確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動確認) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法計測 ・止水板, 支圧板の寸法測定 ・止水板コマ寸法測定 (寸法, 板厚, 摩耗量測定 (試験後)) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・止水板コマ, 支圧板の変形, 摩耗, 据付け等の確認
⑤底面戸当り ⑥側面戸当り	止水性に影響を与える部材の健全性を確認する。	挙動確認	◆加速度計測 (底面・側面戸当り) (⑨～⑯) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・平面度測定 ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, ゆがみ, 据付け等の確認
底面・側面水密ゴム	止水板に追従し, 水密性に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板と底面, 側面戸当りの変位計測 (①～⑩) (レーザー変位計による浮き上がり確認) ◆ビデオ撮影 (①～⑨)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (厚さ) ◆外観目視, 据付け状況検査 ・変形, 摩耗, 亀裂, ライニング面, 据付け等の確認 ◆漏水検査
止水板接続 ゴム	止水板との接続部に影響がないことを確認する。	挙動確認	◆止水板の変位計測 (①～⑧) (レーザー変位計による止水板の挙動を把握し, 接続ゴムの変位を計測) ◆止水板の加速度計測 (⑤～⑧) ◆ビデオ撮影 (②)
		健全性確認	◆寸法測定 ・水密ゴムの寸法計測 (寸法) ◆外観目視検査 ・変形, 摩耗, 亀裂の確認 ・底面・側面水密ゴムの接続箇所の確認 ◆水密ゴムの据付け状況確認

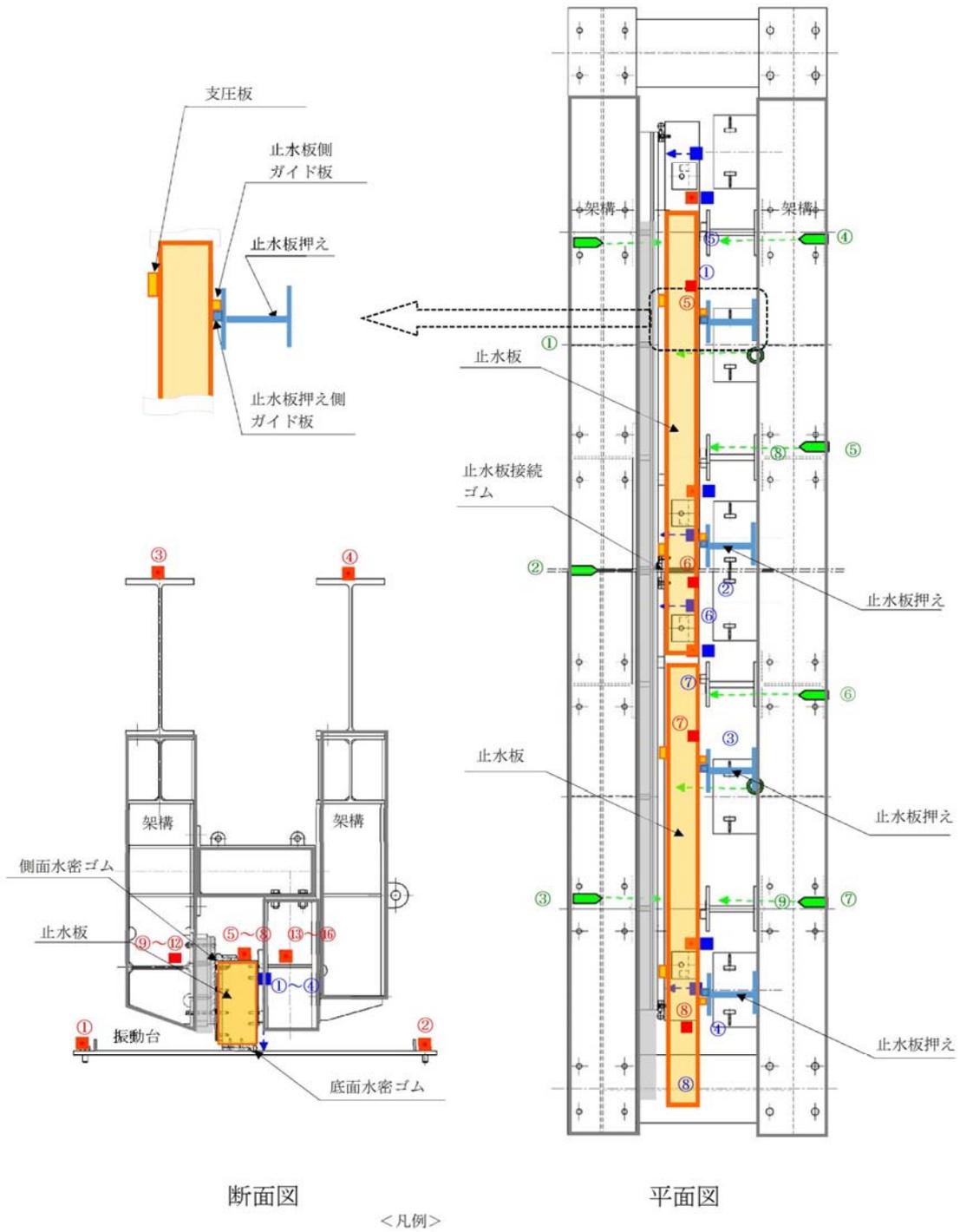
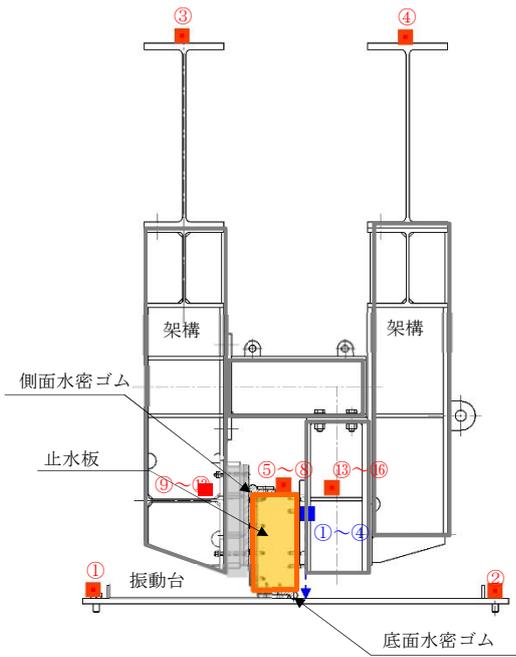
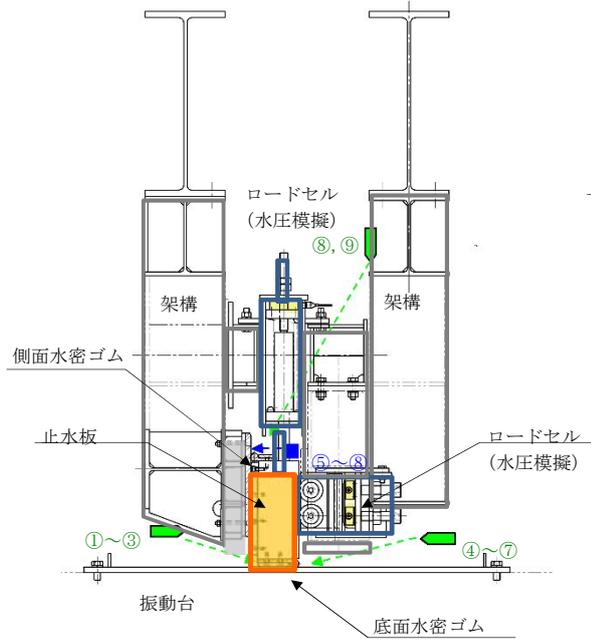


図7 実証試験時の計測部位（本震時）（1/2）

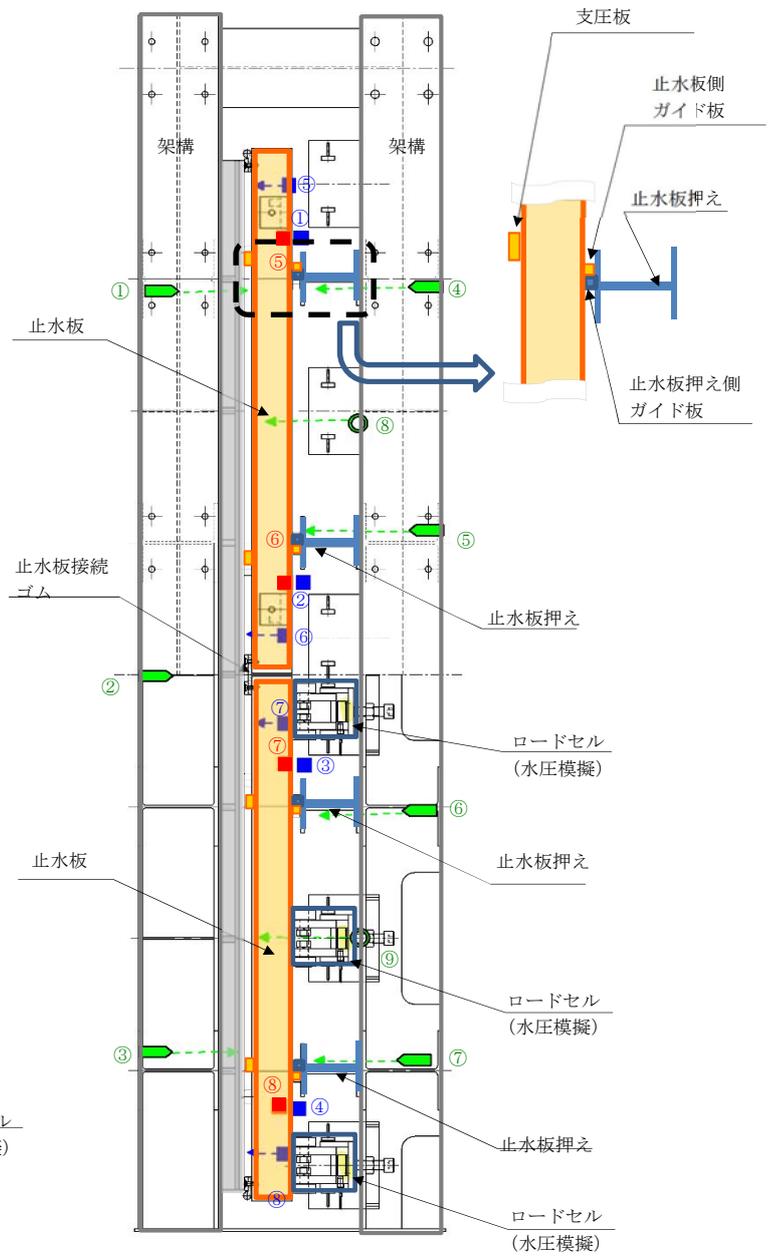
- <凡例>
- : 加速度計
 - : レーザー変位計
 - ▶ : ビデオ撮影



断面図（加速度計，レーザ変位計）



断面図（水圧時）



平面図

<凡例>

- : 加速度計
- : レーザ変位計
- ➡ : ビデオ撮影

本震時の計測機器に水圧模擬するためにロードセルを設置する。

図8 実証試験時の計測部位（水圧時）（2/2）

表 8 計測器一覧

計測器	型番	メーカー	仕様	数量	備考
レーザー変位計			測定範囲 160～450 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度 : 0.1mm	4	鉛直 相対変位
			測定範囲 75～130 mm 繰返し精度 30 μ m 計測精度 0.01mm	4	水平 相対変位
加速度計			定格容量 ±20G 応答周波数範囲 500Hz 計測精度 0.02G±1%	16	X Y Z 方向
ロードセル			定格容量 50 k N 非直線性 ±0.05%	12	水平方向
			定格容量 100 k N 非直線性 ±0.2%	4	鉛直方向
CCD カメラ			f6 mm, 8 mm, 12 mm	6	
			f3.7 mm	3	
ビデオ カメラ			デジタルハイビジョン方式	2	全景用

(8) 実証試験手順

実証試験のスケジュールを以下に示す。実証試験は1回の実証試験で3日間必要とする。そのため、実証試験の本震、余震+津波を実施し水密ゴムの計測等は4日目に実施する手順になる。表9に実証試験の実施手順を示す。

水密ゴムは、実際に想定しうる本震の後に余震+津波となるため、余震+津波の実証試験が終了するまでは同じものを通して使用する。

以下は試験1回目の手順、2回目以降も同様の手順で実施する。

表9 実証試験の実施手順 (1回目)

時間帯	本震 (1日目)	本震 (2日目)	余震+津波1回 (3日目)
午前 (約3.5時間)	<試験前準備> ・各部外観検査, 寸法計測 (試験前健全性確認) ・振動台の油圧上昇 (X Y Z 軸方向) ・振動台の油圧降下 ・止水板設置 ・計測器取付け ・水密ゴムの計測 ・水密ゴムの外観据付け検査	<試験前準備> ・同左	<試験前準備> ・同左
午後 (約4.5時間)	<試験前準備> ・振動台油圧上昇 ・ホワイトノイズ加振*	<試験枚準備> ・同左	<試験前準備> ・水密ゴムの外観据付け検査 ・水密ゴムの計測 ・水圧負荷装置設置
	<実証試験> ・実証試験(本震) ・加振終了後油圧降下	<実証試験> ・同左	<実証試験> ・油圧上昇 ・水平負荷装置荷重調整 ・実証試験(余震) ・水平負荷解除 ・加振終了後油圧降下
	<試験後> ・止水板吊上げ、保持状態 ・水密ゴムの外観・据付け検査	<試験後> ・止水板取り外し ・同左	<試験後> ・止水板取り外し ・水圧負荷装置取外し

(4日目)

- ・水密ゴムの外観・据付け検査
- ・水密ゴム取外し, 摩耗等計測
- ・各部外観検査, 寸法計測(試験後健全性確認)
- ・品質記録の例を図8に示す。

※ホワイトノイズ加振とは

止水板を設置した状態で試験装置の固有振動数を算出し, 試験装置の固有振動数に有意な変化がないことを試験前に確認することで, 試験装置が正常な状態であることを確認する。

(9) 実証試験の要領

実証試験の試験要領（立会い時）を表 10 に示す。

表 10 実証試験（立会い時） 試験要領

No	試験要領	チェック
1	【準備作業】	
	(1) 振動台が健全な状態で暖気運転等が終了していること。	
	(2) 止水板が設置され、各設備の事前計測が完了していること。	
	(3) 計測装置の校正されており設置されていること。	
2	【試験前準備】	
	(1) 計測器が測定できる状態であること。	
	(2) ホワイトノイズ加振が終了してあること。	
3	【実証試験試験】	
	(1) 試験ケース（2 ケース）	
	①水平：X Y Z 方向（3 方向同時）	
	②垂直：Z 方向	
	(2) 実証試験の実施	
	a. ①水平：50% 加振試験（調整運転）	
	b. ①水平：75% 加振試験（調整運転）	
	c. ①水平：100% 加振試験（データ採取）	
d. ②垂直：100% 加振試験（データ採取）		
4	【試験後確認】	
	(1) データが採取できていること。	
	(2) 試験装置全体及び止水板や水密ゴム、計測装置等に異常がない事。	
	(3) 次の実証試験に支障がない事。	
5	【試験の中止，再試験の判断】	
	以下の場合に試験を中止し，原因等の調査を行い再試験の判断を行う。	
	・異音，異臭等の異常がある場合や破損	
	・止水板の追従性に異常（固着，水密ゴムの噛み込みなど）が認められ試験の継続が困難な場合	
	・振動台の不具合等（発電機故障，ダンパー故障など）	
	・試験装置や計測器等の設備等の不具合（データ不採取の場合など）	
	・装置の破損等による実証試験への影響がある場合	

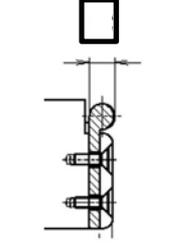
発注者 日本原子力発電株式会社 殿											
業務名 東海第二発電所 鋼製防護壁止水機構の挙動検討(その2)											
実験名 一次止水機構 振動試験											
実施日 2018年4月2日～											
受注者											
再委託先											
実施場所											
試験NO.	UPE有無	計測場所		底面水密ゴム頭部外径(mm)		試験NO.	UPE有無	計測場所		備考	
		止水板	位置	加振前	加振後			止水板	位置		加振前
1		右	右側			3	有り	右	右側		備考
			中央						中央		
			左側						左側		
		左	右側					右側			
			中央					中央			
			左側					左側			
2	有り	右	右側		4	無し	右	右側		備考	
			中央						中央		
			左側						左側		
		左	右側					右側			
			中央					中央			
			左側					左側			
備考	摩耗量計測：0-100mmノギス 計測箇所（海側から見る） 										

図9 (1/3) 品質記録の例 (1/3) (止水板の寸法計測の例)

発注者	日本原子力発電株式会社 殿			発注者		受注者		再委託先	
業務名	東海第二発電所 鋼製防護壁止水機構の挙動検討(その2)			発注者		受注者		承認	
実験名	一次止水機構 振動試験			発注者		受注者		承認	
実施日	2018年4月2日			発注者		受注者		承認	
再委託先				発注者		受注者		承認	
実施場所				発注者		受注者		承認	
止水板厚さ				発注者		受注者		承認	
止水板	位置	設計値(mm)	計測値(mm) : A	ガイド間隔	位置	設計値(mm)	計測値(mm)	止水板の軸直角方向隙間(mm)	
右	右側			1	上			A	
	左側			2	下			B	
左	右側			3	上			C	
	左側			4	下			D	
<p>計測：ノギス、スケール</p> <p>備考</p>									

図9 (2/3) 品質記録の例 (2/3) (止水板押えと側面戸当りの寸法計測の例)

発注者	日本原子力発電株式会社 殿					発注者	受注者	再委託先
業務名	東海第二発電所 鋼製防護壁止水機構の挙動検討(その2)					発注者	受注者	再委託先
実験名	一次止水機構 振動試験					発注者	受注者	再委託先
実施日	2018年4月2日					発注者	受注者	再委託先
受注者	[Redacted]					発注者	受注者	再委託先
再委託先	[Redacted]					発注者	受注者	再委託先
実施場所	[Redacted]					発注者	受注者	再委託先
止水板ガイド板間隔	設計値(mm)		計測値(mm)		ガイド板軸方向間隔(mm)			備考
位置	D		E		B-A / 2			
右	上	右	上	右	[Redacted]			
	下	下	下					
中央	上	中央	上					
	下	下	下					
左	上	左	上					
	下	下	下					
<p>平面配置</p> <p>止水板ガイド板間隔：D</p> <p>止水板押えガイド板間隔：E</p>								
備考	計測：スケール							

図 9 (3/3) 品質試験の例 (3/3) (止水板押えの間隔計測の例)

実証試験装置の概要について図 1～図 4 の写真にて示す。

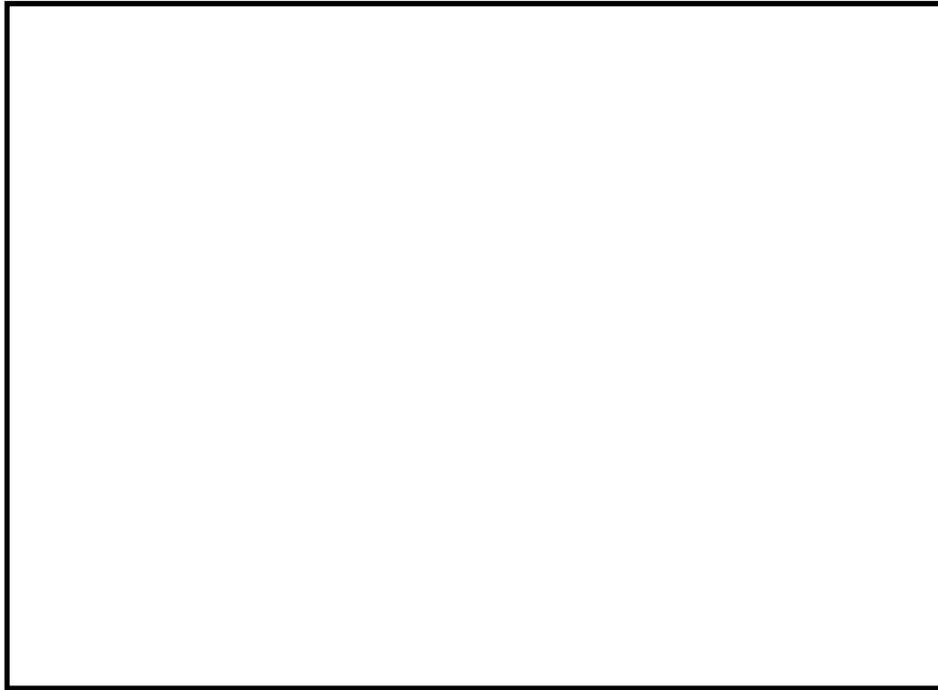


図 1 止水機構 実証試験全景

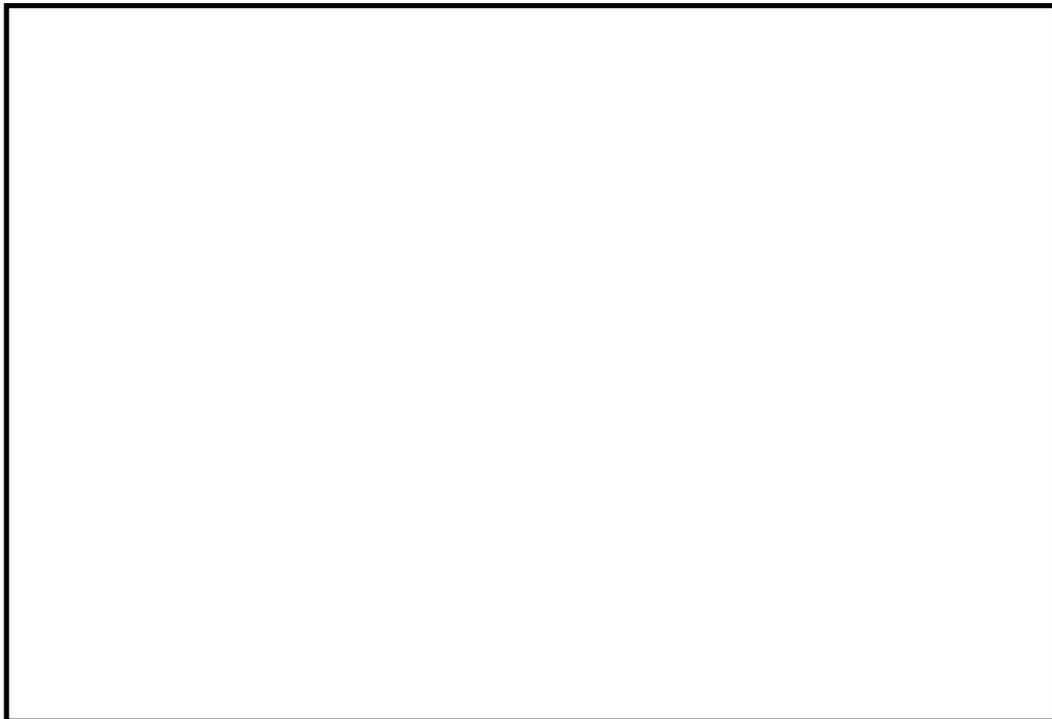


図 2 止水機構 実証試験全景（真上）

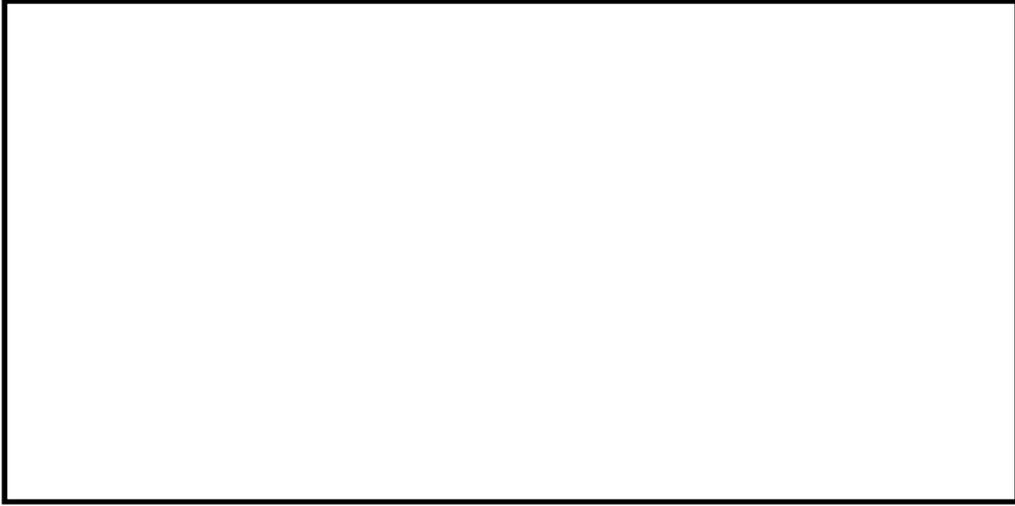


図 3 止水機構 実証試験全景（真横）

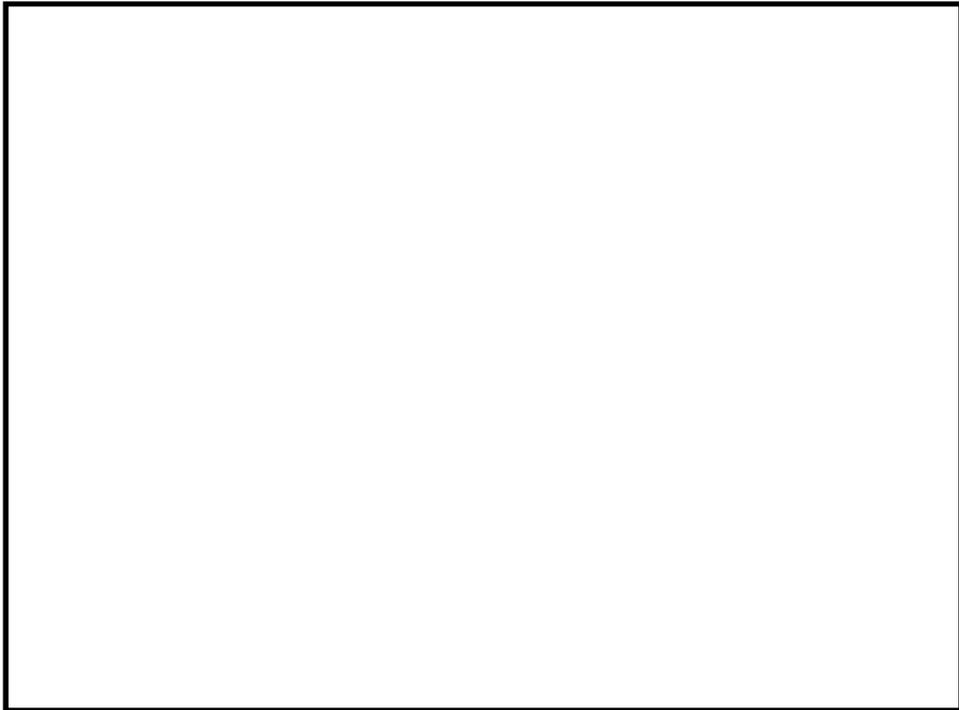


図 4 止水機構 実証試験全景（陸側より）